

Riina Lahti

# **RUISKUBETONI KALLIORAKENTAMISESSA**

Materiaalit, työsuoritus ja laadunvalvonta

Kandidaatintyö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
06/2020

# TIIVISTELMÄ

Riina Lahti: Ruiskubetoni kalliorakentamisessa – Materiaalit, työsuoritus ja laadunvalvonta  
Shotcrete in underground rock construction – Materials, work performance and quality control  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikka, Tekniikan kandidaatin tutkinto  
Toukokuu2020

---

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan ruiskubetoniin käytettäviä materiaaleja, ruiskutuksen suorittamista sekä ruiskubetonin laadunvalvontaa ennen ruiskutusta ja sen jälkeen. Tarkoitus on selvittää syitä, miksi ruiskubetonointi on kallion lujituksessa yksi vallitsevista menetelmistä. Työn aineistona käytetään painettuja tekstejä, standardeja ja myös sellaisten yritysten verkkosivuja, jotka tarjoavat materiaaleja betoniin sekä työnsuoritukseen tarvittavia laitteistoja.

Suomessa maanalaisissa kallioiloissa käytetään lähes poikkeuksetta ruiskubetonointia. Ruiskubetonointi voidaan toteuttaa joko kuivaseos- tai märkaseosmenetelmällä. Tässä työssä tarkastellaan märkaseosmenetelmää, sillä se soveltuu paremmin isoihin tiloihin. Märkaseokseen käytetään samankaltaista betoniseosta kuin normaaleihin betonirakenteisiin. Perusseoksen muodostavat vesi, sementti sekä kiviaines. Lisäksi siihen voidaan lisätä lisäaineita, seosaineita ja kuituja. Suomessa yleisin käytettävä seosaine on silika ja lisäaineena käytetään aina vähintään kiihdytintä. Märkaseosmenetelmässä ruiskutus toteutetaan yleensä koneellisesti ruiskutusrobotilla, mikä lisää turvallisuutta ja tuottaa paremman sekä tasaisemman lopputuloksen.

Itse ruiskutusvaiheessa on tärkeää, että työntekijät ovat päteviä ja ammattitaitoisia. Ruiskutuksen optimaalinen kulma on 90°, mutta aina tähän ei päästä. Ruiskutuspinnoilla olevat raudoitteet lisäävät omat haasteensa ruiskutukseen, sillä kulmaa on muunneltava, jotta betoni saadaan täysin raudoitteiden taakse. Betoni ruiskutetaan yleensä noin 20 cm korkuisina kerroksina ruiskutuspinnoille alhaalta ylöspäin. Ruiskutuskerroksen vaadittu kokonaispaksuus vaihtelee kohteen mukaan, mutta kerralla ruiskutettava paksuus on maksimissaan noin 50 mm. Mikäli ruiskutetaan yli 150 mm paksuinen kerros raudoitettuun pintaan, se tehdään yleensä kerralla. Ruiskutus tapahtuu 45° kulmassa alhaalta ylöspäin, ja betonia ruiskutetaan samaan kohtaan niin kauan, että haluttu paksuus on saavutettu.

Ruiskubetonin valmistus on laadunvalvonnan alainen vaihe. Tehtaalla tai työmaalla tuotetun betonin tulee olla kolmannen osapuolen tarkastuksen piirissä. Ruiskubetonin valvonta jaetaan kolmeen eri kategoriaan, joissa on jokaisessa hiukan erilaiset vaatimukset. Ruiskubetoniin käytettävät materiaalit tulee yleensä tarkistaa vähintään materiaalin ensimmäisestä toimituksesta. Lisäksi valmiista betonimassasta tarkistetaan sen notkeusnotkeusluokan määrittämien mukaan ja tehdään pitoisuusmittaukset lisäaineille, seosaineille ja kuiduille.

Ruiskubetonointi on käytetty menetelmä johtuen sen helposta saannista sekä valmistuksesta. Se on myös kohtuullisen helppo menetelmänä, sillä ruiskutus ei vaadi monia erilaisia vaiheita. Suomessa ruiskubetoni on vielä kehitysvaiheessa ja tulevaisuudessa mahdollisesti päästään tuottamaan betonia edullisemmin, kun kallista kiviainesta saadaan korvattua mahdollisesti enemmän seosaineilla. Myös ympäristötavoitteet ovat maailmassa lisääntymässä ja ruiskubetoniin on varmasti myös mahdollista löytää ympäristöystävällisempiä ratkaisuja, kuten jo esimerkiksi Norjassa ja Ruotsissa käytettävä kalkkikivifilleri seosaineena.

Avainsanat: ruiskubetoni, märkaseos, ruiskutus, valvonta

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. MENETELMÄT .....	3
2.1 Kuivaseosmenetelmä .....	3
2.2 Märkäseosmenetelmä .....	3
3. MATERIAALIT .....	5
3.1 Sementti ja kiviaines .....	5
3.2 Lisäaineet .....	6
3.2.1 Kiihdyttimet .....	7
3.2.2 Muut lisäaineet .....	8
3.3 Seosaineet .....	8
3.3.1 Silika .....	8
3.3.2 Lentotuhka ja jauhettu masuunikuona .....	9
3.4 Kuidut .....	9
4. LAITTEISTO .....	11
4.1 Ruiskutuskalusto .....	11
4.2 Kuljetuskalusto .....	12
4.3 Paineilmalaitteet ja siirtoputkistot .....	14
5. TYÖN SUORITUS .....	15
5.1 Esityöt .....	15
5.2 Ruiskutus .....	15
5.3 Jälkihoito ja suojaus .....	20
6. LAADUNVALVONTA .....	21
7. YHTEENVETO .....	26
LÄHTEET .....	27

# 1. JOHDANTO

Ruiskubetonia käytetään lähes jokaisessa kallioon rakennettavassa kohteessa. Sen kehittyvä automatisointi lisää yhä enemmän sen kysyntää, jolloin myös betonin on kehityttävä mukana tukeakseen uudenlaisia rakennussysteemejä. Ruiskubetoni on kuitenkin kohtuullisen tuore tuote, joten sillä on tulevaisuus vasta edesspäin ja rakennusalalla voidaan olettaa käytön yhä lisääntyvän.

Tässä työssä perehdytään ruiskubetoniin ja -betonointiin. Työssä selvitetään ruiskubetoniin käytettäviä materiaaleja sekä aineita ja betoniin mahdollisesti lisättäviä kiihdyttimiä. Lisäksi käydään läpi erilaisia betoniruiskutuskalustoja sekä betoninkuljetuskalustoa. Kaluston jälkeen siirrytään käsittelemään itse toteutusta ja lopuksi tutkitaan vielä laadunvalvontaa.

Työssä tutkitaan ensisijaisesti ruiskubetonin käytettävyyttä ja käsitellään sen ominaisuuksia ja sitä miksi sitä ylipäätään käytetään. Työssä käydään myös lyhyesti läpi, miksi märkäseosmenetelmä sopii paremmin maanalaisiin kalliotiloihin. Työn edetessä mietitään myös betonin lisäaineiden sekä seosaineiden käyttöä: mitä voidaan käyttää ja miksi niitä käytetään. Lisäksi mietitään vielä, mitä laadunvalvonnassa tulee ottaa huomioon ja miksi laadunvalvontaa ylipäätään suoritetaan. Tutkimuskysymykset vastaavat todellisen elämän tilanteisiin ja tarkoituksena on siis selvittää syitä ruiskubetonointiin.

Aihe rajautuu jo aiemmin mainitusti kallion sisäisiin tiloihin, jotka sijaitsevat Suomen kallioperässä. Työssä tutkitaan Suomen normien ja sääntöjen mukaisia menetelmiä, aineita ja laitteistoja. Aiheen ulkopuolelle jäävät esimerkiksi sillat ja tunnelit, joissa myös käytetään ruiskubetonia. Nämä rajataan ulos, sillä niiden ruiskubetonointia, varsinkin silloissa, ei toteuteta ihan samalla tavalla, ja usein juuri siltojen rakentamisessa käytetään kuivaseosmenetelmää, joka on rajattu työstä myös pois. Työssä ei myöskään käydä läpi kallioteknisiä sääntöjä.

Ruiskubetonista on olemassa kaksi erilaista menetelmää, joista märkäseosmenetelmä on kalliotiloissa pääasiallinen käyttömuoto. Työn alussa käydään myös lyhyesti läpi kuivaseosmenetelmä, mutta sen jälkeen tekstissä puhutaan vain märkäseosmenetelmästä, ellei toisin mainita. Kuivaseosmenetelmän tarkempi selvitys siis rajataan myös pois työn sisällöstä.

Aineistoa on koottu sekä verkkolähteistä että painetuista teksteistä, joista suurimpana toimii betoniyhdistyksen (2015) laatima kirja ruiskubetoniohjeista. Aineistoa löytyy kohtalaisen paljon, minkä vuoksi työn valmistamiseen ei tarvita henkilöhaastatteluita. Työhön haetaan tietoja myös niiden yritysten verkkosivuilta, jotka tarjoavat ruiskubetonointikalustoa ja materiaaleja. Lisäksi Standardeista, jotka liittyvät ruiskubetonointiin ja siinä käytettäviin materiaaleihin, löytyy tietoa tutkielman sisältöön.

## 2. MENETELMÄT

Ruiskubetonoinnissa ruiskutetaan betonia paineilmalla suuttimen läpi, jolloin aineen oma liikemäärä muodostaa tiiviin tasalaatuisen massan ruiskutettavalle pinnalle (Väylävirasto 2019, s. 14). Ruiskubetonointia toteutetaan kahdella erilaisella menetelmällä: kuivaseos- ja märkäseosmenetelmällä (BY63 2015 s.). Molemmat menetelmät toimivat käytännössä kaikissa tilanteissa, mutta käyttökohde määrittää, kumpaa on kannattavampi käyttää missäkin tilanteessa.

### 2.1 Kuivaseosmenetelmä

Kuivaseosmenetelmä on kehitetty USA:ssa yli 100 vuotta sitten (BY63 2015, s. 8). Sen parhaita puolia ovat käsikäyttöisyys ja halvat investointikustannukset. Kuivaseosmenetelmä toimii pienissä ja ahtaissa tiloissa, koska siihen käytettävä laitteisto on pientä. Kyseinen menetelmä on myös nimensä mukaisesti kuivaa, ja se aiheuttaa pölyämistä ruiskutuksen yhteydessä. Yleisimmin tätä menetelmää käytetään korjausrakentamisessa, jossa on usein hankalia ja ahtaita paikkoja.

Kuivaseosmenetelmän perusseos muodostuu sementistä ja luonnonkosteasta kiviaineksesta sekä tarvittaessa lisättävistä seosaineista ja teräs- tai polymeerikuiduista. Kuivaseos etenee putkistossa paineilmalla suuttimeen, jossa ruiskuttaja lisää tarvittavan määrän vettä seokseen. Veteen voi olla sekoitettuna kiihdytinaineita. Ruiskuttajan täytyy hallita tehtävänsä, sillä väärällä vesimäärällä on vaikutuksia lopullisen pinnan ominaisuuksiin. (BY63 2015, s. 9) Kuivaseosmenetelmässä hukkaroiskeen määrä on kaksinkertainen verrattuna märkäseosmenetelmään ja siitäkin syystä ruiskuttajan ammattitaidoilla on merkitystä.

### 2.2 Märkäseosmenetelmä

Märkäseosmenetelmä on uudempi menetelmä kuin kuivaseos. Sitä on aloitettu käyttämään vasta 1950-luvulla ja se on lähtöisin USA:sta. Suomessa menetelmän käyttö yleistyivät vasta 20 vuotta myöhemmin ja sitä käytettiin erityisesti kaivostiloissa. Märkäseosmenetelmää ruvettiin vasta 1990-luvulla hyödyntämään runsaammin kalliorakentamisessa ja etenkin kallion lujitustöissä. (BY63 2015, s. 8) Märkäseosmenetelmä on Suomessa edelleen käytössä, ja varsinkin tämän työn kannalta tämä kyseinen menetelmä on vallitsevampi, sillä kalliotiloissa käytetään suurimmaksi osaksi märkäseosmenetelmää.

Märkäseosmenetelmässä kaikki käytettävät ainesosat sekoitetaan heti keskenään ja ne muodostavat perusseoksen. Siihen kuuluu aina vettä, sementtiä ja runkoaine. Lisäksi perusseokseen voidaan lisätä tarvittaessa seos- ja lisäaineita sekä kuituja. Märkäseosmassa pumpataan putkistojen kautta suuttimeen, jonne syötetään ilmaa ja nestemäistä kiihdytintä, jotka vielä sekoittuvat märkäseosmassaan ennen ruiskutusta. (BY63 2015, s. 9) Perusseokseen lisättävillä aineilla, kuten kiihdyttimelläkin, vaikutetaan betonin kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin.

## 3. MATERIAALIT

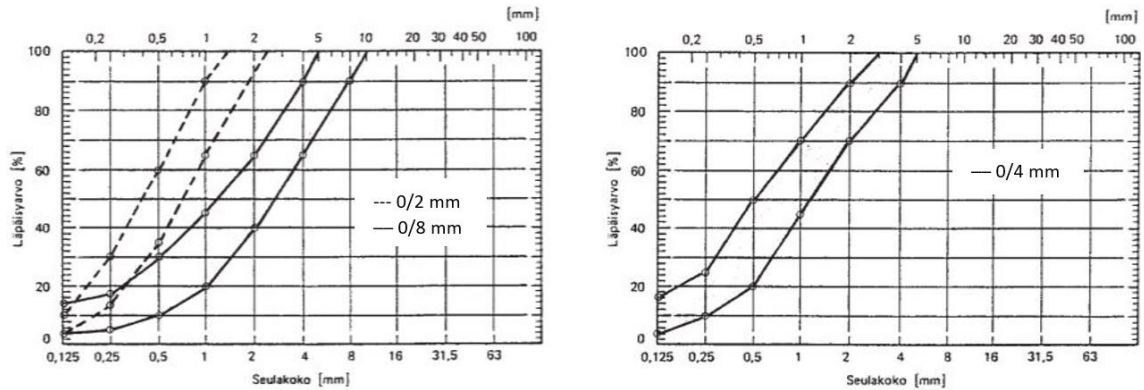
Perinteisen valubetonin perusseos on toimiva myös ruiskubetonin perusseoksena. Jokaisen osa-aineen on oltava CE-merkittyjä. (BY63 2015, s. 13) Betonin raaka-aineita ovat yksinkertaisimmillaan vesi, sementti ja kiviainekset. Lähes aina betonimassaan sekoitetaan myös lisä- ja seosaineita. Jo säätelemällä osa-aineiden suhteita voidaan muokata betonin ominaisuuksia. (BY201 2018, s. 24) Vesi-sementtisuhde on yleensä ruiskubetonissa 0,35–0,50, mutta tarvittaessa on myös mahdollista käyttää isompaa suhdelukua. Sementin vähimmäismäärän tulee olla  $300 \text{ kg/m}^3$ , ja veden tulee täyttää standardin SFS-EN 1008 vaatimukset. (SFS-EN 14487-1: 2006, s.)

### 3.1 Sementti ja kiviaines

Betonin tärkein raaka-aine on sementti. Kun sementti reagoi veden kanssa, muodostuu sementtikiveä, joka sitoo koko betonin raaka-aineet yhteen. Ruiskubetonissa ei suositella kaikkien sementtityyppien käyttöä, sillä kiihdyttimet toimivat vain CEM I (portlandsementti) ja CEM II (portlandseossementti) sementeissä ja sitoutumisen käynnistyminen tulisi alkaa ruiskutuksen jälkeen mahdollisimman pian (BY63 2015, s. 13). Standardissa SFS-EN 197-1 (2012) on määritetty betonissa käytettävän sementin vaatimukset.

Betonin kolmas pääraaka-aine on kiviaines ja sen tilavuusmäärä betoniseoksessa on 65–80% (BY201 2018, s. 43). Ruiskubetonissa käytetään luonnonkiviainesta sekä murskattua kiviainesta sekoitettuna keskenään tai pelkästään toista. Usein kohteen pinnoille on asetettu ulkonäkövaatimuksia, jolloin pintakerroksessa ei suositella käytettäväksi yli 4 mm raekokoa. Ruiskubetonin maksimiraekoko on muutoin normaalisti 8 mm, sillä isompi raekoko aiheuttaa enemmän hukkaroisetta. (BY63 2015, s. 14–15) Ruiskutuspinna muodostuu useista kerroksista, ja jokaisen kerroksen ei välttämättä tarvitse muodostua täysin samanlaisesta betonimassaseoksesta.





**Kuva 1.** Kiviainesten 0/2 mm, 0/4 mm ja 0/8 mm rakeisuuksien ohjealueet (Tiehallinto 2009)

Kuvassa 1 on esitelty tyypilliset ruiskubetonin kiviainesten rakeisuuksien ohjealueet. Ruiskubetonissa yleisin käytetty on 0/8 mm raekoko. Betoniyhdistyksen (2018) mukaan ruiskubetonissa on noin 40% suurempaa kiveä eli noin 4–8 mm:n kokoista raetta. Loput 60 % ovat alle 4 mm:n raetta, josta 4–9 % on hienojakoista, alle 0,125 mm:n kokoista raetta. (BY201 2018, s. 358) Kuvasta 1 voidaan myös todentaa, että 0/8 mm:n raekokojakauman mukaan noin 60 % on yli neljän millimetrin raetta ja loput 40 % pienempää.

### 3.2 Lisäaineet

Standardin SFS-EN 14487-1 (2006) mukaan perusseoksen lisäaineet ovat materiaaleja, joilla muunnellaan kovettuneen ja/tai tuoreen seoksen ominaisuuksia ja joiden määrä valmistusvaiheessa on korkeintaan 5 % käytettävän sementin painosta. Perusseoksessa voidaan käyttää lähes samoja tuotteita kuin normaalissa valubetonissa ja näitä aineita on runsaasti. Lisäaineiden käytön tavoitteina on vaikuttaa lujuteen sekä sen kehitykseen, betonin pumpattavuuteen sekä ruiskutettavuuteen ja työstettävyysaikaan. (BY63 2015, s. 16) Näihin kaikkiin tavoitteisiin on kehitetty omat lisäaineensa.

Taulukossa 1 on listattuna lisäaineita ja niiden käyttötavoitteita. Yleisimmät lisäaineet ruiskubetonissa kiihdyttimen lisäksi ovat notkistimet ja notkeutta kontrolloivat lisäaineet. Betoniyhdistyksen (2018) mukaan notkistimilla veden määrää voidaan pienentää 5–15 % ja tehonotkistimella jopa 30 %. Notkistavia lisäaineita lisätään yleensä alle 1 % sideaineen kokonaismäärästä. Niiden käyttö lisää betonimassan työstöaikaa ja hukkaroiskeen määrää saadaan vähennettyä. (BY201 2018, s. 63) Notkeutta kontrolloivat lisäaineet taas siirtävät betonimassa sitoutumisen alkua. Niiden vaikutukset kuitenkin kumoutuvat, kun betonia ruvetaan ruiskuttamaan ja märkämässä reagoi kiihdytinaineen kanssa.

**Taulukko 1.** Ruiskubetonissa käytettävien lisäaineiden (ja seosaineiden) tavoitteet (BY63 2015, s.16)

Tavoite/Käyttötarkoitus	Mitattava ominaisuus	Lisäaine
Puristuslujuus Taivutuslujuus Säilyvyys	Betonin sitoutuminen ja lujuus	Vedenvähennys notkistavalla lisäaineella Seosaineet Kuidut Jälkihoitoaineet
Pumpattavuus	Työstettävyys	Stabilaattorit
Ruiskutettavuus	- notkeus -hukkaroiske	Seosaineet Vedenvähennys notkistavalla lisäaineella
Lujuudenkestävyys	Sitoutuminen Kovettuminen	Kiihdyttimet Vedenvähennys notkistavalla lisäaineella
Työstettävyysaika	Avoin aika, notkeuden säilyminen	Sitoutumista hidastava lisäaine Notkeutta kontrolloiva lisäaine

### 3.2.1 Kiihdyttimet

Ruiskubetoniin lisätään lähes poikkeuksetta aina sitoutumista ja kovettumista nopeuttavaa kiihdytinainetta. Se syötetään betoniin suuttimen kautta ja se tulee olla synkronoitu betonipumpun syöttöön. Kiihdyttimen avulla tehostetaan työntekoa, koska sillä voidaan ruiskuttaa paksumpia kerroksia kerralla. (BY63 2015 s. 19) Kiihdyttimet kuitenkin saattavat alentaa betonin loppulujuutta, ja se täytyy ottaa huomioon betonin suhteituksessa.

Ruiskubetonissa kiihdyttimen määrä on 5–8 % märkämässän painosta. Se on suuttimessa yleensä nestemäisessä muodossa. Nykyään kiihdyttimet ovat alkalivapaita, eli niiden pH on 2–4. Kiihdyttimen käytöllä saadaan betonin sitoutuminen alkamaan jopa kymmenissä sekunneissa ruiskutuksesta ja se myös nopeuttaa betonin varhaislujuuden kehitystä. (BY63 2015, s. 19) Sementtityyppi ja sen määrä sekä betonimassan ja kiihdyttimen lämpötila vaikuttavat kiihdyttimen toimintaominaisuuksiin.

### 3.2.2 Muut lisäaineet

Ruiskubetonin perusaineiden lisäksi voidaan seokseen lisätä väriaineita, ruiskutettavaan pintaan voidaan lisätä tartunta-aineita ja jo ruiskutetun pinnan päälle levittää jälkihoitoaineita. Väriaineita lisätään vain viimeiseen ruiskutettavaan kerrokseen, mikäli ruiskutettava pinta jää näkyviin. Väripigmentti lisätään seokseen joko nestemäisenä tai pulverina samalla kuin muutkin ainekset ja sen annostelumäärä on noin 3–7 %sementin painosta. (BY63 2015, s. 22)

Tartunta-aineet ovat nimensä mukaisesti betonin tartuntaa lisääviä aineita. Betoniyhdistys (2015) määrittää, että tartunta-aineet levitetään ruiskutettavan alueen pintaan. Tartunta-aineita käytetään eniten korjausrakentamisessa. Jälkihoitoaineet puolestaan levitetään valmiille pinnalle, ja sillä ehkäistään liallista veden haihtumista betonista. (BY63 2015, s. 23)

### 3.3 Seosaineet

Betonissa voidaan käyttää seosaineita sekä side- että runkoaineena (BY201, 2018 s. 56). Ruiskubetonissa käytetään seosaineita hukkaroiskeen vähentämiseen, säilyvyysominaisuuksien parantamiseen, pumppauspaineen alentamiseen, veden pidätyskyvyn parantamiseen ja korvaamaan sementtiä. Yleisin seosaine ruiskubetonissa on silika, mutta myös lentotuhkaa, masuunikuonajauhetta tai kalkkifillieriä voidaan käyttää. (BY63, 2015 s. 19) Standardissa SFS-EN 14487-1 (2006) määritellään, että seosaineiden tulee täyttää vaatimukset, jotka ovat standardin EN 206-1 mukaisia.

Ruiskubetonissa vähiten käytetty seosaine on kalkkikivifillieri. Nordkalk (2020) tuo esille kalkkikivifillierin positiivisen ympäristövaikutuksen. Sen mukaan kalkkikivifillierin käyttö vähentää sementin tarvetta ja parantaa betonin laatua. (Nordkalk 2020) Suomessa kalliorakentamisessa ei vielä olla otettu kalkkikivifillieriä kunnolla käyttöön. Sillä voidaan kuitenkin parantaa ruiskutettavuus- ja pumpattavuusominaisuuksia ja standardi SFS-EN 206 tulee ottaa huomioon ennen kalkkikivifillierin käyttöä (BY63 2015, s. 21).

#### 3.3.1 Silika

Silika on todella hienojakoista pulveria, jota syntyy ferropiin ja piin (alkuaine) valmistuksen yhteydessä. Sen käyttö lisää betonin lujuutta, kemiallista kestämistä sekä tiiveyttä. Silikan käyttö kuitenkin lisää betonin vedentarvetta, joka pyritään kumoamaan vedentarvetta vähentävillä lisäaineilla kuten notkistimilla. (BY201 2018, s. 57) Ruiskubetonissa silikan käytön tärkeimpiä hyötyjä ovat hukkaroiskeen väheneminen sekä koossapysyvyyden parantuvuus (BY63 2015, s. 21).

Silikalla on erittäin korkeat pozzolaaniset ominaisuudet ja sitä voidaan käyttää sekä kovettuneen että tuoreen betonin ominaisuuksien parantamiseen (SFS-EN 13263-1 2009). Ruiskubetonissa voidaan yleensä käyttää silikaa maksimissaan 11% sementin painosta mutta suositeltava määrä on 5-8 %. Silikan käytössä tulee huomioida SFS-EN 206 mukaiset vaatimukset sekä täyttää standardin SFS-EN 13263-1 ehdot. (BY63 2015, s. 21) Seosaineen määrää tulee myös arvioida betonin rasisluokan mukaan.

### **3.3.2 Lentotuhka ja jauhettu masuunikuona**

Standardin SFS-EN 450-1 (2013) määrittää lentotuhkan olevan hienorakeista jauhetta, joka syntyy polttamalla voimalaitoksessa hiiltä oheispolttoaineiden kanssa tai ilman. Betoniyhdistyksen (2015) mukaan lentotuhkaa käytetään betonissa parantamaan sen työstettävyyttä, koossapysyvyyssominaisuuksia sekä pumpattavuutta ja ruiskutettavuutta. Sitä käyttämällä saadaan myös vähennettyä sementin käyttöä. (BY63 2015, s. 21) Lentotuhkan käyttämisen vaatimukset löytyvät standardeista SFS-EN 206 sekä SFS-EN 450-1.

Masuunikuonajauhe ei ole yhtä hienorakeista ainesta kuin aikaisemmin mainitut seosaineet. Betoniyhdistyksen (2018) mukaan masuunikuonajauheen raekoko on sementin raekoon luokkaa tai jopa hieman suurempaa. Raakaraudan valmistuksen sivutuotteena syntyvä masuunikuonajauhe jauhetaan granuloidusta kuonasta. Sitä hyödynnetään parantamaan lujuutta sekä sulfaatinkestävyyttä ja se parantaa kestävyyttä alkalipiireaktioita vastaan. Masuunikuonajauhe myös notkistaa betonia. (BY201 2018, s.57). Standardeista SFS-EN 206 ja SFS-EN 15167-1 löytyvät masuunikuonajauheen vaatimukset.

## **3.4 Kuidut**

Ruiskubetoniin voidaan myös lisätä, teräs- ja polymeerikuituja, joiden tehtävänä on parantaa betonin vetolujuutta sekä murtokestävyyttä. Ruiskubetonissa kuiduilla on myös tärkeä tehtävä halkeamien muodostumisten jälkeisten kuormitusten sitkeysominaisuuksien parantamisessa. (BY63 2015, s. 21) Kuiduilla saatetaan myös korvata teräsverkkoja tai -tankoja.

Standardin SFS-EN 14487-1 (2006) teräs- ja polymeerikuituja käytetään korkeintaan 40 mm:n pituisina. Kuitujen pituus ei myöskään saisi ylittää yli 75% putkien ja letkujen paksuudesta, ellei pystytä todistamaan, ettei ilma niissä tukkeudu. (SFS-EN 14487-1, 2006) Kuidut tulisi lisätä betonimassaan myös tasaisesti joka puolelle seosta, ja seosta valmistettaessa on otettava huomioon myös kuitujen osuus hukkaroiskeessa.

Betoniyhdistyksen (2015) mukaan sementin määrän lisääminen noin 10 %:lla tai silikan määrän lisäämisellä parannetaan kuitujen tartuntaa sekä vähennetään hukkaroisetta.



**Kuva 2.** Ruiskubetonissa käytettäviä Teräskuituja (vas.) ja polymeerikuituja (oik.). (Rakentaja.fi)

Teräskuituja käytetään raudoituksen korvikkeena eli ruiskubetonissa korvataan teräsverkotusta. Teräskuitujen tarkoituksena on parantaa betonin vetolujuutta sekä murtokestävyyttä ja lisätä dynaamisten kuormien kestävyttä. (BY201 2018, s. 66) Teräskuitujen määrä betonimassassa on yleensä 30-60 kg/m<sup>3</sup>, pituus 20-35 mm ja paksuus 0,4-0,8 mm (BY 63 2015, s.22). Standardista SFS-EN 14889-1 löytyy teräskuitujen vaatimukset.

Polymeerikuidut jaetaan kahteen ryhmään: makro- ja mikropolymeerikuidut. Mikrokuidut ovat lyhyitä ja ohuita ja soveltuvat halkeilun vähentämiseen, kun taas makrokuidut ovat pidempiä ja soveltuvat samoihin käyttötarkoituksiin kuin teräskuidut. (Rakentaja.fi) Mikrokuituja käytetään myös hukkaroiskeen vähentämiseen ja niillä voidaan myös parantaa palonkestävyyttä eli estää esimerkiksi tulipalon aikana betonin runsasta halkeilua (BY63 2015, s.22).

Makrokuidun määrä betonimassassa on luokkaa 5-10 kg/m<sup>3</sup> mikä on noin 5-kertainen määrä mikrokuidun määrään, joka on vain 1-2 kg/m<sup>3</sup>. Mikro- ja makrokuidut voivat olla molemmat noin 50 mm pitkiä mutta makrokuitujen minimipituus on noin 40 mm kun taas mikrokuidut voivat jopa olla vain 6 mm pitkiä. Makrokuidun halkaisija on yli 0,3 mm ja mikrokuidun alle 0,3 mm. (BY63 2015, s.22) Mikro- ja makrokuidut siis erottuvat toisistaan helpoiten halkaisijan koon mukaan. Polymeerikuitujen vaatimukset löytyvät standardista SFS-EN 14889-2.

## 4. LAITTEISTO

Ruiskubetonoinnissa voidaan käyttää erilaisissa kohteissa erilaisia ruiskutus- ja kuljetuskalustoja. Märkäseosmenetelmässä käytetään usein kauko-ohjattavaa ruiskutuskoneistoa, mutta myös käsin käytettäviä laitteita löytyy. Betoniyhdistyksen (2015) mukaan ruiskubetonointirobottien avulla parannetaan työskentelyolosuhteita sekä turvallisuutta ja veden annostelun kontrollointi on tehokkaampaa, minkä ansiosta betonin laatu paranee.

### 4.1 Ruiskutuskalusto

Ruiskutuskalusto sisältää ruiskutusrobotin sekä mahdolliset käsikäyttöiset ruiskut ja ruiskutuksen suuttimen. Märkäseosmenetelmän suutin sisältää kärkiosan, joka voi olla kumia tai muovia, paineilman syöttörengas sekä kiihdyttimen syöttölaitteiston. Suuttimeen täytyy syöttää paineilmaa, jotta betonimassan nopeus kasvaa ja se leviää suihkuksi. (BY63 2015, s. 28)

Ruiskubetonointirobotteja on suunniteltu eri kokoisille ja korkuisille kallio-tiloille. Yksi esimerkki itsekulkevasta sähköhydraulisesta ruiskubetonointilaitteesta on kuvassa 3. Ruiskutusrobotit nopeuttavat ruiskutusta, saadaan laadukkaampaa betonia vedenannostelun kontrolloinnin vuoksi ja lopputulos on siistimpi. Myös hukkaroiskeen määrä saattaa vähentyä, jos vertaa käsikäyttöiseen ruiskutukseen.



**Kuva 3.** *Spraymec 8100 VC, ruiskubetonointilaitte (Normet 2020)*

Ruiskubetonointilaitteita on useampia ja kuvassa 3 on vain yksi esimerkki kyseisistä koneista. Normetin (2020) kuvan 3 koneen pumppauskapasiteetti tunnissa on noin 30

m<sup>3</sup> betonia. Se pystyy työskentelemään isoissa tiloissa, poikkipinta-alaltaan 15–140 neliömetrin kokoisella alueella ja sen korkein ruiskutuskorkeus on 14 metriä. (Normet 2020). Ruiskubetonointirobottien käyttö siis vähentää työaikaa ja se on erittäin hyödyllinen varsinkin isoissa tiloissa, joissa ruiskutettavaa pintaa on paljon.



**Kuva 4.** Ruiskutusrobotti ja sitä ohjaava työmies (BY63 2015)

Ruiskutusrobottia ohjaa aina joku siihen nimitetty työntekijä. Suunnitteluvaiheessa määritellään urakan tarkistusluokka, jonka mukaan myös ruiskutusta suorittavalle henkilölle on osoitettu vaatimuksia. Ruiskutusta johtavaa henkilöä kutsutaan suutinmieheksi. Kuvassa 4 nähdään vähän koneen ja ihmisen kokoeroa ja myös sitä, kuinka suutinmies on turvallisen etäisyyden päässä ruiskutuspinnoista.

## 4.2 Kuljetuskalusto

Betonin kuljettamista varten maanalaisissa tiloissa on tehty monia erilaisia koneita, joiden kuljetuskapasiteetti ja korkeus vaihtelevat. Esimerkiksi kuvassa 5 on esiteltyä Ultimec LF 600 Agitator, jonka betoninkuljetuskapasiteetti on 6 m<sup>3</sup> ja matalin mahdollinen korkeus, jossa mahdollista ajaa, on 3,3 metriä (Normet 2020).





**Kuva 5.** Betoninkuljetusauto Ultimec LF 600 Agitator (Normet 2020)

On olemassa myös hieman toisen muotoinen betoninkuljetusauto, joka on esiteltyä kuvassa 6. Kuvan 5 agitator kuljetusauto eroaa pääasiassa betonisäiliön suhteen kuvan 6 transmixin verrattuna. Normetin (2020) mukaan kuvassa 6 esitellyn Ultimec LF 600 Transmixin betonin kuljetuskapasiteetti on hieman pienempi, 5,6 m<sup>3</sup> ja tällä on mahdollista ajaa pienimmillään 2,6 metrin korkuisissa tiloissa. Lisäksi siinä on mahdollista säätää betonin purkaukorkeutta, joka mahdollistaa lastin purkamisen useammassa tapauksessa.



**Kuva 6.** Betoninkuljetusauto Ultimec LF 600 Transmixer (Normet 2020)

Molempien kuvien 5 ja 6 betoninkuljetusautojen tekniset tiedot ovat samat. Moottorina toimii tehokas turboahdettu nestejäähdytteinen 155 kW:n TIER 3, joka varmistaa tehokkaan ja puhtaan toiminnan. Lisäksi molempien autojen nopeus täyteen lastattuna kaltevalla pinnalla, jonka suhde on 1:7, ylöspäin ajettaessa on 8 km/h ja vaakasuoralla maksiminopeus on puolestaan 18 km/h. (Normet 2020)



### 4.3 Paineilmalaitteet ja siirtoputkistot

Märkäseosmenetelmässä paineilmaa käytetään, jotta suuttimesta saadaan betonimassa tarpeeksi nopeaan vauhtiin, että se leviää ruiskumaiseksi. Paineilmalla saadaan myös kiihdytinaine sulautumaan betonimassavirtaan. Jokaista tunnissa ruiskutettavaa betonikuutiota kohden syötetään ruiskutussuuttimeen yleensä ilmaa 0,7–1,0 m<sup>3</sup>/ min. Määrä vaihtelee kalustosta ja ruiskutustehosta riippuen. Paineilmaa ruiskutus vaatii 10–15 m<sup>3</sup>/ min paineella 700 kPa. (BY63 2015, s. 27)

Siirtoputkistoilla siirretään betonia ruiskubetonipumpusta ruiskutussuuttimeen. Runkoaines määrittelee siirtoputken sisähalkaisijan paksuutta, sillä sen on oltava vähintään 3 kertaa niin suuri kuin runkoaineksen maksimiraekoko. (BY63 2015, s. 27) Tiehallinnon (2009) mukaan putken paksuus on noin 40–100 mm ja siirtoputket ovat materiaaliltaan joko kumi- tai teräsputkiä, jotka sisältävät supistus- ja siirtymäkappaleita. Betoniyhdistys (2015) määrittelee teräsputkiston eduksi siirtoon tarvittavan painemäärän vähäisyyden. Teräsputkistossa painetta tarvitaan vain 1/3 verrattuna joustavan putkiston painemäärään. Lisäksi teräsputkisto tasaa painepiikkejä paremmin. (BY63 2015, s.27) Teräsputkistot eivät useinkaan ole ihan kokonaan terästä, vaan putkiston loppupäähän vaihdetaan kuminen putki, sillä suuttimen liikuttelu on näin helpompaa ja joustavampaa.

## 5. TYÖN SUORITUS

### 5.1 Esityöt

Ennen ruiskutusta betoni täytyy valmistaa joko työmaalla tai valmisbetonitehtaalla, josta se kuljetetaan valmiina työmaalle. Jos betoni tuotetaan työmaalla, täytyy sinne rakentaa ns. työmaan oma betonitehdas. Työmaalla tuotetaan yleensä betoni itse vain, jos on niin iso kohde kyseessä, että se on työmaan kannalta helpompaa sekä taloudellisesti kannattavampaa kuin tehtaalta tilattu betoni. Betoniyhdistyksen (2015) mukaan työmaalla valmistettava betoni voidaan tehdä alusta asti itse tai käyttää kuivabetonituotteita. Kuivabetonituotteet sisältävät uunikuivatut betonin raaka-aineet, pois lukien vesi, jotka on sekoitettu tehtaalla valmiiksi ja pakattu pusseihin. Työmaalla pussin sisältö sekoitetaan veteen ja saadaan betonia.

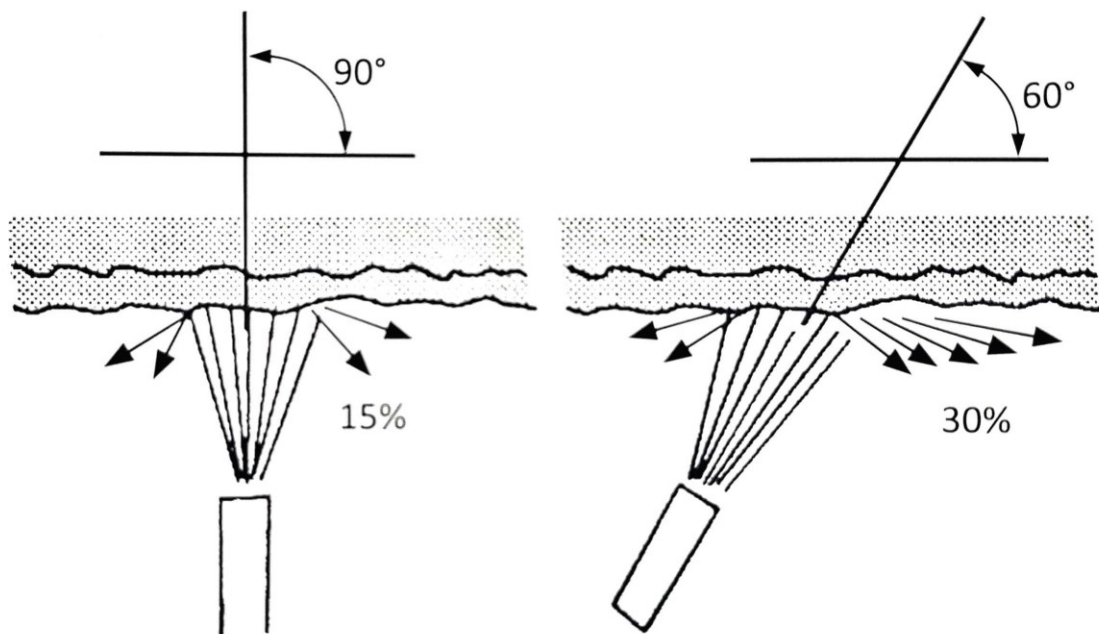
Ennen ruiskutuksen aloittamista täytyy ruiskutettava pinta esikäsitellä. Pinnasta poistetaan huono ja irtonainen kiviaines tai isommat lohkat voidaan myös ankkuroida kallioon kiinni. Pinnasta poistetaan painevesisuihkutuksella muut epäpuhtaudet, kuten pöly ja kerrostumat ja niiden mahdolliset vesivuodot tukitaan tai ohjataan ruiskubetonisalojiin. Ruiskutettava pinta tulee siis olla täysin puhdas sekä vaurioitumaton. Epäsäännölliselle/karkealle pinnalle voidaan tehdä ylimääräinen tasoituskerros. Tällöin se tehdään ennen ruiskutusta erillisenä vaiheena. (SFS-EN 14487-2 2007) Myös kaikki mitä kallioon tulee kiinnittää ennen ruiskutusta, esim. pultit, tulee olla asennettuna niille asetettujen vaatimusten mukaisesti.

Jos kallion pintoja vahvistetaan myös raudoiteilla, voidaan käyttää verkkoa, betoniterästankoja tai kuituja (ks. luku 3.4). Raudoitukset on kiinnitettävä niin että ne pysyvät ruiskutuksen ajan paikoillaan ja sijoitetaan niin että ne aiheuttavat mahdollisimman vähän varjoja ja parantavat tiivistystä. Raudoitusverkon kanssa täytyy myös huomioida, että jos verkkoja on useampi kerros, täytyy takimmainen verkko peittää ensin kokonaan ruiskubetonilla ennen kuin seuraava kiinnitetään. Seuraavan verkon etäisyys tulisi olla edellisen verkon peittämästä ruiskubetonipinnasta vähintään kaksinkertainen betonin maksimiraekoon verrattuna. (BY63 2015, s. 44)

### 5.2 Ruiskutus

Ruiskutus on aloitettava ennen kuin betonin sitoutuminen alkaa. Betonin suuttimen läpi säädetään virtaus, jonka aikana suutin tulee kääntää pois ruiskutettavasta pinnasta, muutoin aina ruiskutettaessa suutin pyritään säätämään mahdollisimman kohtisuoraan

ruiskutettavaan pintaan. Poikkeaminen optimaalisesta etäisyydestä, joka on lujitusruiskutuksessa 1–2 metriä, lisää hukkaroiskeen määrää sekä saattaa heikentää betonin laatua. Ruiskubetoni ei myöskään saa työntyä tai liukua, vaan sen pitää tulla suuttimesta ruiskuna ja betonimassan pitää jäädä kiinni ruiskutettavaan kohtaan eikä liukua eteenpäin. Kuvasta 7 huomataan, että mikäli ei ole kohtisuora etäisyys, hukkaroiskeen määrä lisääntyy. Kohtisuoralla pinnalla saadaan myös tasaisempi tulos aikaiseksi ja mahdolliset raudoitteet peittyvät tasaisesti ja joka puolelta. (BY201 2018, s. 358)



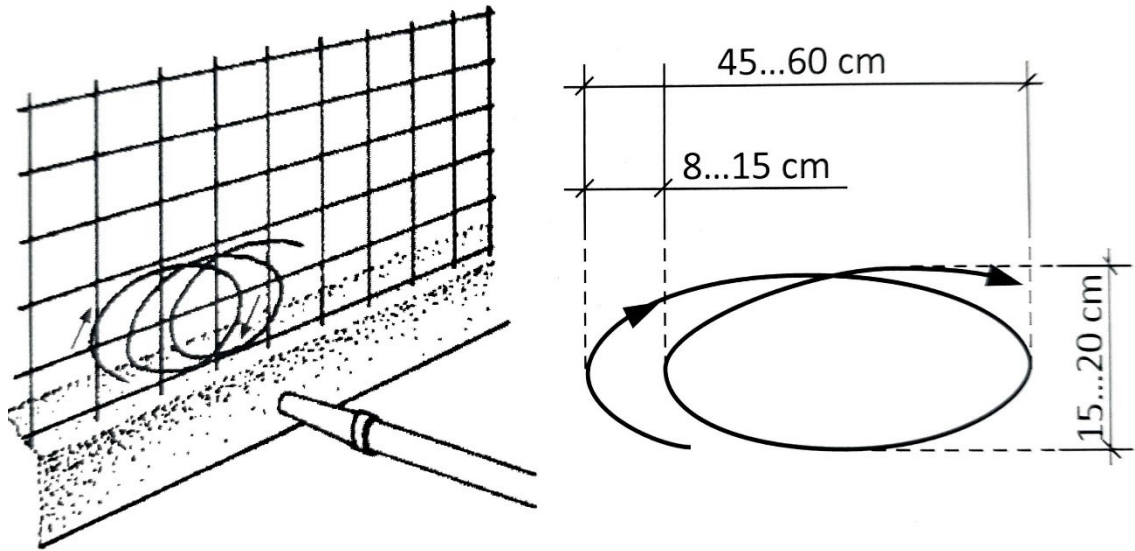
**Kuva 7.** Ruiskutussuunta ja sen muutoksen vaikutus hukkaroiskeeseen (BY201 2018)

Betonin määritelty paksuus vaikuttaa siihen, kuinka monta kerrosta ruiskutetaan. Kun ruiskutetaan useampi kerros, ei tarvitse olla niin isoa ruiskutettavaa annosta per kerta. Tällä keinolla vähennetään betonimassan putoamista/valumista, sekä ehkäistään liika painumista. Kerralla ruiskutettavan betonin paksuutta saadaan säädelyä seosaineilla, kiihdyttimellä tai tietynlaisilla sementeillä. Jos ruiskutustekniikka on oikea ja betonimassa on valmistettu hyvin, sillä mahdollistetaan paksumpien kerrosten ruiskuttaminen kuitenkin maksimissaan noin 50 mm. (BY201 2018, s. 359) Pöllän (2015) mukaan märkäseosmenetelmässä yleensä ensimmäinen ja viimeinen kerros ovat noin 30 mm paksuisia ja muut kerrokset 40 mm.

Uutta kerrosta ei saa ruiskuttaa ennen kuin edellinen kerros on tarpeeksi kuiva tukeakseen sitä ja saavuttanut vähintään 5 MPa lujisuuden (Pöllä 2015). Jos vanhan kerroksen ruiskuttamisesta on kulunut pitkä aika, täytyy pinta puhdistaa ennen uuden

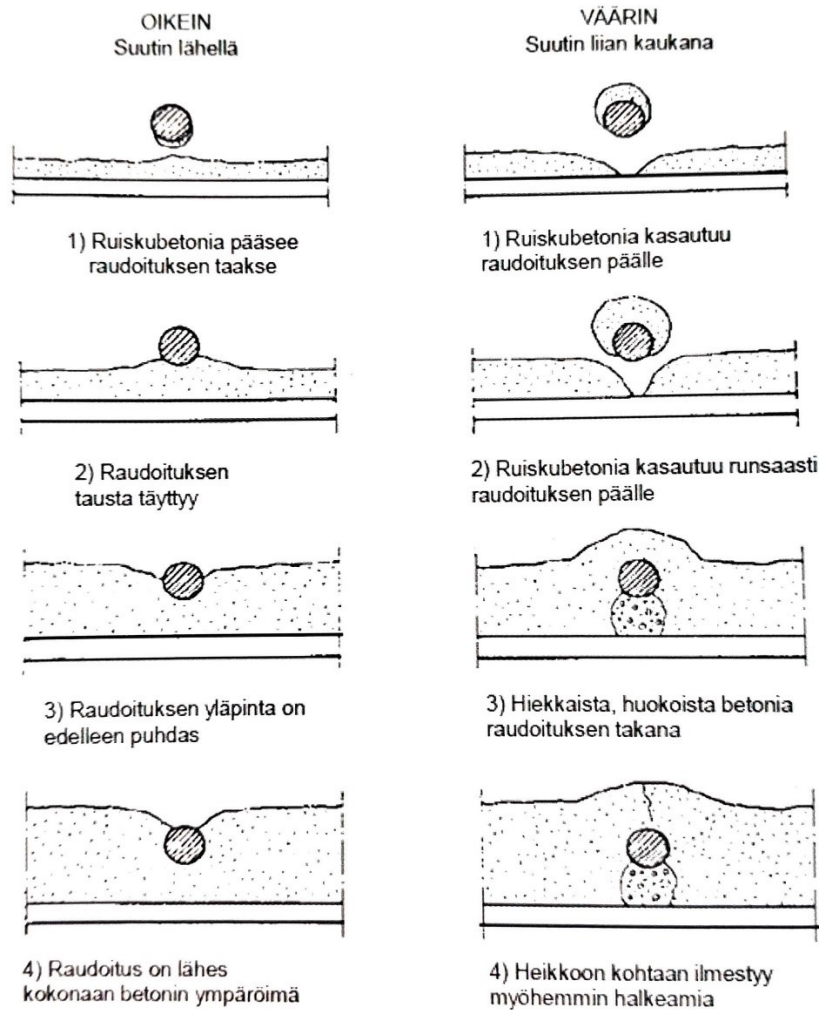
kerroksen ruiskuttamista. Puhdistus tapahtuu joko ilmapuhalluksella, korkeapainepesulla, harjaamalla tai hiekkapuhaltamalla riippuen kauanko pinta on saanut vain olla ja paljonko likaa on kertynyt. Ennen uutta ruiskutuskerrosta täytyy irtonaiset hukkaroiskeet ja ohiruiskutettu betoni poistaa ympäröivästä alueesta sekä mahdollisista raudoitteista. (BY63 2015, s. 49)

Ruiskutus suoritetaan aina alhaalta ylöspäin ja se pyritään aina aloittamaan alemman ruiskubetonikerroksen rajasta niin kuin kuvassa 8 hahmotellaan. Jos ruiskutus ei osu rajakohtaan vaan hieman ylemmäs, saattaa rajakohtaan kertyä hukkaroiskeita. Yleinen ruiskutusetäisyys on 0,6–1,8 metriä ja ruiskutus tapahtuu kuvan 8 mukaisella kuviolla. (BY201 2018, s. 360) Ruiskutusroboteilla on helpompi saada aikaan hyvä jälki, sillä ne on ohjelmoitu tarkasti ruiskuttamaan oikeasta kohdasta ja oikeanlaisella liikeradalla.



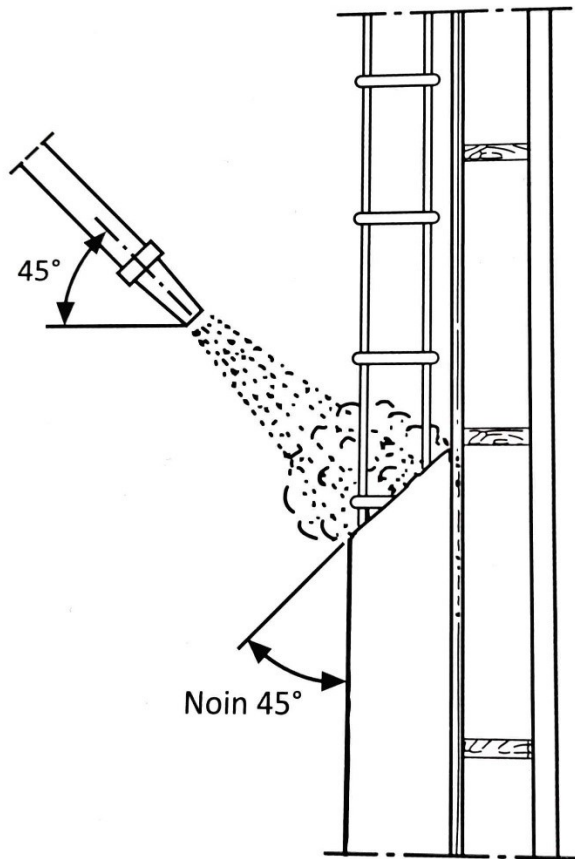
**Kuva 8.** Ruiskutettava kerros ja ruiskutusliikerata (BY201 2018)

Raudoitteet asettavat haasteita ruiskutuksen toteuttamiseen. Esimerkiksi kohtisuoraan ruiskuttamisen takia raudoitteiden taakse ei pääse betonia. Siksi silloin on ruiskutettava hieman vinossa ja mahdollisesti vaihdeltava ruiskutuskulmaa, muttei kuitenkaan alle 45° kulmaan alustaan nähden. Raudoitteiden kohdalla ruiskutetaan myös mahdollisesti alle 0,6 m etäisyydeltä. Ohuet eli alle 150 mm paksut raudoitettut seinät ruiskutetaan muuten samalla tavalla kuin raudoittamattomat, mutta ruiskutussuutinta käännetään hieman vinoon. Sen avulla saadaan raudoitusten takana betoni tiiviiksi. (BY201 2018, s. 360) Kuvasta 9 nähdään miten käy, jos ruiskuttaa liian kaukaa raudoitetusta rakenteesta, eli raudoitteen taakse ei pääse tarpeeksi betonia. Vaarana on, että raudoitteen taakse jää ilmalla täytetty kolo, joka ajan saatossa aiheuttaa betonin mahdollisen halkeilun kyseisellä kohdalla.



**Kuva 9.** Ruiskubetonointi raudoitettun rakenteen päälle (BY63 2015)

Ruiskutus suunnitellaan hieman vaihtelee kohteen raudoitettun seinän paksuuden mukaan. Yli 150 mm paksuiset seinät ruiskutetaan kerralla valmiiksi kuvan 10 mukaisesti ja niissä käytetään myös useasti paksuja raudoitettankoja, mutta niiden halkaisijan ei tule ylittää yli 25 mm. Kuvasta 10 nähdään, että ruiskutus suunnataan 45° kulmaan alustasta nähden ja ruiskutetaan alhaalta ylöspäin niin kauan, että koko seinä on halutun paksuinen. Ruiskutus kulmaa on myös hieman vaihdeltava, jotta koko raudoite peittyi. Yleensä myös ruiskutus etäisyys saattaa olla normaalia pienempi. (BY63 2015 s. 52)



**Kuva 10.** ruiskutusperiaate yli 150 mm paksuiselle raudoitetulle seinällä (BY201 2018)

Ruiskubetonoinnin aikana myös ilman lämpötila saattaa vaikuttaa betoniin. Betonimassan lämpötilan on aina oltava vähintään +5 °C. Kylmällä säällä mahdollisesti jäätyneeseen alustaan ruiskutettaessa on huolehdittava, että betonin lujuudenkehitys tapahtuu suunnitellusti. Yleensä pyritään kuitenkin siihen, että ruiskutettavan alustan sekä raudoituksen lämpötila olisi +2–+38 °C. Betoni ei myöskään saa alkaa jäätymään ennen kuin se on saavuttanut jäätymislujuuden eli 5 MPa. (BY63 2015, s. 57)

Kuumalla säällä taas on huolehdittava pääasiassa jälkihoidosta ja selvitettävä etukäteen, miten kuumuus vaikuttaa betonin lujuudenkehitykseen sekä lujuuskatoon ja muihinkin ominaisuuksiin. Kuumalla säällä myös on seurattava, että betoni pysyy riittävän kauan työstettävänä, sillä isompi lämpötila nopeuttaa sitoutumisen alkua. (BY63 2015, s. 57)

Ruiskutuspinnan viimeistely voidaan hoitaa, kun viimeinen ruiskubetonikerros on kuivunut. Kun ruiskutettu pinta halutaan tasaiseksi, käytetään ohjaimia. On odotettava, kunnes ruiskubetoni on kovettunut tarpeeksi, eli niin ettei pinnan tasaus aiheuta betonin irtoilua tai halkeilua. Sen jälkeen pinta voidaan tasata ohjaimien tasalle. Vielä hienomman pinnan saamiseksi voidaan ruiskuttaa ohut 5–10 mm paksuinen kerros hienoa raekooltaan alle 4 mm betonia. Ruiskutusetäisyys tulee olla 2,5–3,5 m ja massan

tulee olla märkää, ilman kiihdyttämiä sekä ruiskuteholtaan pieni mutta paineeltaan suuri. (BY63 2015, s.55)

### **5.3 Jälkihoito ja suojaus**

Betonipinta jälkihoidetaan ja suojataan aikaisessa vaiheessa, jotta minimoidaan plastinen kutistuma, saavutetaan riittävä pintalujuus, varmistetaan riittävän pintavyöhykkeen säilyvyys, estetään sään haittavaikutuksia sekä jäätymistä ja suojataan haitalliselta värähtelyltä, iskuilta sekä vaurioilta. Jälkihoidossa pyritään saavuttamaan alhainen veden haihtuvuus betonin pinnalta. (BY63 2015, s. 56) Pöllän (2015) mielestä on suositeltavaa pitää betonin pinta koko ajan kosteana siihen tarkoitetulla menetelmällä. Voi myös olla, ettei jälkihoitoa tarvita, mikäli sääolosuhteet ovat sopivat ja veden haihtumisnopeus betonin pinnalta on vähäinen, eli kun ilman suhteellinen kosteus on yli 85 %. Kalliotiloissa maan alla on kuitenkin otettava huomioon kokoaikainen tuuletus, joka kuivattaa tiloja ilmankosteudesta huolimatta. (BY63 2015, s. 56)

Betonipintaan voidaan lisätä jälkihoitoaineita, jos betonin pinta on lopullinen. Jälkihoitoaineita käytetään noin 2,5 l/m<sup>2</sup> ellei pinta ole epätasainen, mikä kuluttaa enemmän jälkihoitoainetta. Betonissa voidaan myös käyttää lisäainetta, joka estää veden haihtumista tuoreesta sekä kovettuvasta pinnasta. Kun ruiskutus lopetetaan tai jos ruiskutuksessa on yli kahden tunnin tauko, tulee pinta välittömästi jälkihoitaa (jos tarvitsee). Jos pinta jälkihoidetaan ruiskutuksen välikerrokseen, jälkihoitoaineet tulee poistaa, mikäli ne vaikuttavat tartuntaan heikentävästi, ennen uuden ruiskutuskerroksen aloittamista. (BY63 2015, s. 56)

## 6. LAADUNVALVONTA

Laadunvalvonta on iso osuus hyvästä lopputuloksesta. Kun betonia tehdään itse työmaalla, tulee betonin olla kolmannen osapuolen tarkastuksen piirissä (BY63 2015, s. 36). Myös tehtaalta tullut betoni on kolmannen osapuolen tarkistama. Betonimassasta tarkistetaan mahdolliset poikkeamat ainemäärissä ja niiden tulee pysyä taulukon 2 mukaisten rajojen sisäpuolella, tarkastusluokan mukaan. Ennen ruiskutusta tulee myös tarkastaa betonin lämpötila ja painuma (BY201 2018, s. 358).

**Taulukko 2.** Hyväksytyt muutokset ainemäärissä (SFS-EN 14487-2 2007)

Osa-aine	Hyväksytyt toleranssit määritellystä määrästä	
	Tarkastusluokka 2	Tarkastusluokka 3
Sementti	± 5%	± 3%
Vesi	± 5%	± 3%
Kiviainesten kokonaismäärä	± 5%	± 3%
Seosaineet	± 5%	± 3%
Kuidut	± 5%	± 5%
Annostelupaikalla lisättävät lisäaineet, jos lisätty yli 5% sementin painosta	± 7%	± 5%
Suuttimessa lisättävät materiaalit	± 10%	± 5%

Ruiskubetonia arvioidaan kolmessa eri tarkastusluokassa, joista kolmonen on vaativin. Tarkastusluokissa 2 ja 3 urakoitsijan on laadittava ennen töiden aloitusta työmenetelmäkuvaus. Lisäksi tarkastusluokat asettavat vaatimuksia työnjohdolle sekä suuttimiehelle. Tarkastusluokassa 1 työnjohdolla ja suuttimiehellä tulee olla kokemusta vastaavista töistä ja perustiedot pitää olla kunnissa. Tarkastusluokassa 2 edellytetään tarkastusluokan 1 vaatimukset sekä 2 vuoden työkokemus molemmilta ja lisäksi työnjohtajalla, joka vastaa ruiskutuksesta, a-vaativuusluokan kallionrakennustöiden työnjohtajan henkilöpätevyys. Kolmannessa tarkastusluokassa pitää kakkosluokan lisäksi ruiskuttajalla olla henkilöpätevyys sekä työnjohdolla aa-vaativuusluokan kallionrakennustöiden työnjohtajan pätevyys tai 1-luokan betonityönjohtajan tutkinto ja kolmen vuoden työkokemus. (BY63 2015, s. 42)

Ruiskubetonista voidaan tehdä koeruiskutuksia ennen varsinaisen ruiskutuksen aloittamista. Ne eivät ole aina tarpeellisia, jos ruiskuttajalla on pitkäaikainen kokemus samanlaisesta ruiskutuskalustosta sekä työmaan henkilökunnasta. Betoninsuunnitelma on kuitenkin aina laadittava ja mikäli betonin osa-aineisiin tai koostumukseen tulee muutoksia, henkilökunta tai laitteistot muuttuvat, myös suunnitelma pitää tehdä uudelleen. Uuden suunnitelman tekemiseen vaikuttavia seikkoja ovat esimerkiksi vesi-



sementtisuhteen muuttuminen isommaksi, kiviainestyyppin tai sen toimittajan muutos, lisä- ja seosaineissa tapahtuvat muutokset, sementin tyyppin, luokan tai toimittajan muutos ja kuitutyyppin tai tavarantoimittajan muutos. (BY63 2015, s. 64)

Ruiskubetonimassan ainesosia valvotaan aina. Standardi SFS-EN 14487-1 (2006) määrittää sisäisen valvonnan piiriin kaikki ruiskubetonin laatua ylläpitävät ja ohjaavat toimet ja että ne täyttävät myös erityisvaatimukset. Näitä ovat siis osa-aineiden sekä perusseoksen valvonta ja ruiskubetonin ominaisuuksien valvonta. Edellä mainituista asioista syntyvä tieto tulee dokumentoida. (SFS-EN 14487-1 2006)

**Taulukko 3. Perusseoksen valvonta (SFS-EN 14487-1 2006)**

Testin tyyppi	Tarkastus/testi	Tarkoitus	Pienin näytteenottotaajuus		
			Tarkastus- luokka 1	Tarkastus- luokka 2	Tarkastus- luokka 3
<b>Notkeus</b>	Testaus standardin SFS-EN 12350-2 tai SFS-EN 12350-5 mukaan	Arvioidaan vaatimuksenmukaisuus notkeuden vaatimusluokan mukaisesti ja tarkistetaan mahdolliset muutokset vesimäärässä	Tuotannon alkaessa		
<b>Lisäaineen pitoisuus (ei koske kiihdyttimiä)</b>	Lisätyn määrän tallenne	Tarkistetaan pitoisuus	Valinnainen	Jokaisesta erästä	
<b>Seosaineiden pitoisuus</b>	Lisätyn määrän tallenne	Tarkistetaan pitoisuus	Valinnainen	Jokaisesta erästä	
<b>Kuitupitoisuus</b>	Lisätyn määrän tallenne	Tarkistetaan pitoisuus	Jokaisesta erästä		

Taulukosta 3 huomataan, että betonia valvotaan kolmessa eri luokassa. Tarkastusluokka määritellään jo projektimäärittelyvaiheessa. Betonin notkeus tarkastetaan jo tuotannon alussa, mutta lisäaineiden ja seosaineiden pitoisuutta ei tarvitse tarkistaa jokaisesta työmaalle tuotavasta betonierästä tarkastusluokassa 1. Muissa tapauksissa ne tarkastetaan joka erästä, ja kuitupitoisuus pitää myös tarkistaa jokaisen luokan mukaan aina.

Taulukossa 4. on kirjattu kaikki valvontaa vaativat tuotteet. Mikäli kohteeseen on valittu tarkastusluokka 1, ei kaikkia osa-aineita tarvitse testata. Useimmat aineista kuitenkin vaativat näytteenoton jokaisesta toimituksesta, jokaisessa tarkastusluokassa. Lisäaineiden kohdalla on myös hyvä ottaa näyte talteen jokaisesta toimituserästä.

**Taulukko 4. Osa-aineiden valvonta (SFS-EN 14487-1 2006)**

Materiaali	Tarkastus/testi	Tarkoitus	Pienin näytteenottoaajuus		
			Tarkastus- luokka 1	Tarkastus- luokka 2	Tarkastus- luokka 3
<b>Sementit</b>	Kuormakirjan tarkistus	Varmistetaan oikea tyyppi ja alkuperä	Jokaisesta toimituksesta		
<b>Kiviainekset</b>	Kuormakirjan tarkistus	Varmistetaan oikea tyyppi ja alkuperä	Jokaisesta toimituksesta		
	Testi seulomalla standardin EN 933-1 mukaisesti tai kiviainesten toimittajan antama tieto	Arvioidaan rakeisuuden standardin- tai muun hyväksytyin luokittelun mukaisuus	-	Ensimmäinen toimitus uudesta esiintymästä	
	Epäpuhtauksien testaus tai kiviainesten toimittajan antama tieto (standardin EN 12620 mukaisesti)	Arvioidaan epäpuhtauksien määrä ja laatu	-	Ensimmäinen toimitus uudesta esiintymästä	
<b>Kevytbetonin lisävalvonta</b>	Testi standardin ISO 6782 mukaisesti	Mitataan irtotiheys	-	Ensimmäinen toimitus uudesta esiintymästä	
<b>Lisäaineet</b>	Kuormakirjan ja astian merkinnän tarkastus standardin EN 934-6 mukaisesti	Varmistetaan, onko toimituserä tilauksen mukainen ja oikein merkitty	Jokaisesta toimituksesta		
	Nestemäisten lisäaineiden tiheyden testaus standardin ISO 758 mukaisesti	Verrataan valmistajan ilmoittamaan arvoon	Kun on aihetta epäillä		
<b>Seosaineet irtonaisena jauheena</b>	Kuormakirjan tarkistus	Varmistetaan, onko toimituserä tilauksen mukainen ja alkuperä oikea	Jokaisesta toimituksesta		
<b>Seosaineet lietteinä</b>	Kuormakirjan tarkistus	Varmistetaan, onko toimituserä tilauksen mukainen ja alkuperä oikea	Jokaisesta toimituksesta		
	Tiheyden testaus standardin ISO 758 mukaisesti	Varmistetaan homogeenisuus	-	Jokaisesta toimituksesta	
<b>Vesi</b>	Testaus standardin EN 1008 mukaisesti	Varmistetaan, että vedessä ei ole haitallisia aineita	-	Jos vesi ei ole juomavettä; uudesta lähteestä ensimmäisellä kerralla; ja kun on aihetta epäillä	
<b>Kuidut</b>	Pituuden, halkaisijan ja muodon tarkastus standardiehdotusten prEN 14889-1 ja prEN 14889-2 mukaisesti	Varmistetaan, onko toimituserä tilauksen mukainen ja alkuperä oikea	Jokaisesta toimituksesta		

Projektimäärittelyvaiheessa saatetaan myös vaatia ruiskubetonin ominaisuuksien testauksia, jolloin testit tehdään standardista SFS-EN 14487-1 löytyvän taulukon 12

mukaan. Tuoreesta ruiskubetonista testataan kuitupitoisuuksia, vesi-sementtisuhdetta sekä kiihdyttimen määrää. Kovettuneesta betonista valvotaan tiheyttä, puristuslujuutta, vesitiiveyttä, tartuntalujuutta ja jäädytys tai sulatuskestävyyttä. Myös kuitupitoista ruiskubetonista valvotaan erikseen, ja siitä tutkitaan yleensä kuitujen määrää kovettuneessa betonissa, jäännöslujuutta, taivutusmurtolujuutta ja ensimmäisen lujuushuipun ilmentymää. (SFS-EN 14487-1 2006)

**Taulukko 5. Kovettuneen betonin valvonta kallion- ja maaperän vahvistamisessa (SFS-EN 14487-1 2006)**

Testin tyyppi	Tarkastus/testaus standardin mukaan	Miniminäytteenottotaajuus		
		Tarkastusluokka 1	Tarkastusluokka 2	Tarkastusluokka 3
<b>Nuoren ruiskubetonin lujuustesti</b>	SFS-EN 14488-2	1/5000 m <sup>2</sup> tai ½ kuukaudessa	1/2500 m <sup>2</sup> tai 1/kuukausi	1/250 m <sup>2</sup> tai 2/kuukausi
<b>Puristuslujuus</b>	SFS-EN 12504-1	1/1000 m <sup>3</sup> tai 1/5000 m <sup>2</sup>	1/500 m <sup>3</sup> tai 1/2500 m <sup>2</sup>	1/250 m <sup>3</sup> tai 1/1250 m <sup>2</sup>
<b>Kovettuneen betonin tiheys</b>	SFS-EN 12390-7	Kun testataan puristuslujuus		
<b>Vesitiiviys</b>	SFS-EN 12390-8			
<b>Jäädytys/sulatuskestävyys</b>	Sovelletaan kansallisia standardeja			
<b>Tartuntalujuus</b>	SFS-EN 14488-4		1/2500 m <sup>2</sup>	1/1250 m <sup>2</sup>

Taulukossa 5 on mainittu asiat, joita tulee valvoa kovettuneesta betonista. Miniminäytteenottotaajuuden alla on määritelty, kuinka monta näytettä tulee ottaa per tuotantomäärä. Vähintään yksi näyte tulee kuitenkin aina ottaa vaikka tilavuudet/pinta-alat olisivat pienempiä kuin taulukossa. Standardissa SFS-EN 14887-1 (2006) todetaan, että työn alussa tulisi käyttää neljä kertaa korkeampaa näytteenottotaajuutta. Tätä noudatetaan myös projektin tietyissä kriittisissä vaiheissa, mutta yli kaksi testiä työpäivän aikana ei ole tarpeellista. Kun on saatu neljä peräkkäin hyväksytyä tulosta, voidaan palata takaisin normaaliin näytteenottotaajuuteen. (SFS-EN 14887-1 2006)

Ruiskubetonin lujuutta mitataan erilaisilla mittausvälineillä betonin iän mukaan. Alkulujuus (0,2–1,2 MPa), eli noin 0-3h vanhan betonin lujuus, mitataan neulantunkeumamenetelmällä. Neulantunkeumamenetelmällä mitataan voimaa, joka tarvitaan neulan työntämiseen betoniin, kun neula työnnetään 13–17 mm:n syvyyteen (SFS-EN 14488-2 2006). Seuraavan 21h sisällä betoni saavuttaa varhaislujuuden (2–16 MPa), joka mitataan naulan vetokokeella. Naulan vetokokeessa naula asetetaan betoniin vähintään 20 mm:n syvyyteen, jonka jälkeen se vedetään pois ja mitataan poisvetovoima (SFS-EN 14488-2 2006). Lopulta saavutetaan puristuslujuus (5–100 MPa), jonka saavutus vaihtelee betonin mukaan päivästä muutamaan kuukauteen. Sitä

mitataan puristuslujuuskokeella, joka tehdään kairausnäytteestä. Lisäksi betonin tiheys määritetään puristuslujuuden määrittämisen yhteydessä samasta näytteestä. (BY63 2015, s. 30)

Jos ruiskubetoni sisältää kuituja, sille pitää lisäksi tehdä muutama lisäkoel. Taulukossa 6 on mainittuna nämä laadunvalvonnan alaiset asiat ja niiden näytteenottotaajuudet kussakin tarkistusluokassa.

**Taulukko 6.** Kuituvahvisteisen betonin valvonta kallion- ja maaperän vahvistamisessa (SFS-EN 14887-1 2006)

Testin tyyppi	Tarkastus/testaus standardin mukaan	Miniminäytteenottotaajuus		
		Tarkastusluokka 1	Tarkastusluokka 2	Tarkastusluokka 3
<b>Kovettuneen betonin kuitupitoisuus</b>	SFS-EN 14488-7	Kun testataan jäännöslujuus tai energianabsorptiokapasiteetti		
<b>Jäännöslujuus tai energianabsorptiokapasiteetti</b>	SFS-EN 14488-3 tai SFS-EN 14488-5	1/2000 m <sup>3</sup> tai 1/100000 m <sup>2</sup>	1/400 m <sup>3</sup> tai 1/2000 m <sup>2</sup>	1/100 m <sup>3</sup> tai 1/500 m <sup>2</sup>
<b>Taivutusmurto- lujuus</b>	SFS-EN 14488-3	Kun testataan jäännöslujuus		
<b>Ensimmäinen lujuushuippu</b>	SFS-EN 14488-3	Kun testataan jäännöslujuus		

Taulukosta 6 voidaan todeta, että kuituvahvisteisessa betonissa on vain yksi ja sama näytteenottotaajuus. Jokainen koel tehdään siis samalla kerralla. Jäännöslujuus testataan palkkikokeella, jonka mukaan betonin jäännöslujuusluokka luokitellaan. Taivutuslujuus ja ensimmäinen lujuushuippu mitataan myös samalla kerralla niille määrättyjen standardien menetelmien mukaan. Energianabsorptiokapasiteetti tulee määrittellä, sillä sen suuruuden tulee olla sitä isompi mitä enemmän ruiskubetonin alustassa tapahtuu siirtymiä ja muodonmuutoksia. (BY63 2015, s. 31)

## 7. YHTEENVETO

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ruiskubetonointia kokonaisuutena. Ruiskubetonissa käytettävät materiaalit luovat pohjan koko ruiskubetonin toimivuudelle. Betonimassassa voidaan käyttää erilaisina yhdistelminä eri materiaaleja ja säädellä vesi-sementtisuhdetta kohteen vaatimusten mukaan. Betoniin lisättävillä lisä- ja seosaineilla voidaan vaikuttaa betonin ominaisuuksiin lisäten betonin monikäyttöisyyttä. Lisäksi betoniin voidaan lisätä kuituja luomaan betonista hieman teräsbetonivaikutteisen ja sitä kautta voidaan vähentää raudoitteita betonoitavilta pinnoilta. Kun on käytössä useampia ratkaisuja, päästään luomaan betonista hinnan ja laadun puolesta toimiva kokonaisuus.

Ruiskubetonointia käytetään juuri sen yksinkertaisuutensa takia. Betonimassan valmistus on kohtuullisen yksinkertainen prosessi ja se on myös mahdollista tilata valmiina seoksena suoraa työmaalle. Itse ruiskutusvaiheessa ei ole liian monimutkaisia kuvioita, vaan aina pyritään mahdollisimman kohtisuoraan ruiskutukseen ja tasaiseen lopputulokseen raudoitteet huomioiden. Ruiskubetonointi on myös helppo ratkaisu kallion epätasaisille pinnoille, sillä ruiskubetonointi ei vaadi kallionpinnan tasoitusta eikä ruiskubetonია tarvitse kiinnittää erikoiskeinoin kallioon, vaan käyttämällä oikeita aineita se kiinnittyy itsestään siihen. Betoni on myös kovettuneena vesitiivistä ja näin vähentää veden valuntaa kalliotiloihin.

Laadunvalvonnalla taataan betonin toimivuus. Suunnitteluvaiheessa on määriteltävä ruiskubetonille tietty koostumus, jotta se toimii parhaalla mahdollisella tavalla kohteessa. Laadunvalvonta takaa, että betoni pitää suunnitellun koostumuksen ja kohteessa ei tule ruiskutusvaiheessa ongelmia, kun betoni ei toimikkaan oikein. Laadunvalvonnalla lisäksi taataan se, että tehtailta tulevat materiaalit tai valmisbetoni on juuri sitä mitä on tilattu.

Tutkimuksen tieto on peräisin uskottavasti luotettavista lähteistä, jolloin myös tutkimuksen tiedot ovat luotettavia. Standardiliiton tiedot tosin ovat osa jo 15 vuotta vanhoja, joten osa voi mahdollisesti olla hieman vanhentunutta tietoa, mutta betoniyhdistyksen painetut lähteet ovat molemmat tuotettu viiden vuoden sisällä. Lisäksi yritysten nettisivuja päivitetään useasti, joten voidaan olettaa, että niiden tiedot ovat ajan tasalla. Tutkimus onnistui lähteiden osalta siis hyvin. Lisäksi tutkimus vastaa tutkimuskysymyksiin kattavasti ja sisältää pääasiat ruiskubetonin tuottamisesta ja ruiskubetonoinnin toteutuksesta. Lisäksi laadunvalvonta on olennainen osa, jokaista toimivaa kokonaisuutta.

# LÄHTEET

- BY63 (2015). Ruiskubetoniohjeet. Suomen betoniyhdistys ry. Tampere. 88 s.
- BY201 (2018). Betonitekniikan oppikirja. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki. 568 s.
- SFS-EN 197-1 (2012). Sementti. Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki 36 s.
- SFS-EN 450-1 (2013). Betoniin käytettävä lentotuhka. Määritelmät, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. 29 s.
- SFS\_EN 13263-1 (2009). Betoniin käytettävä silika. Osa 1: Määritelmät, vaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. 23 s.
- SFS-EN 14487-1 (2006). Ruiskubetoni. Osa 1: Määritelmät, vaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. 33 s.
- SFS-EN 14487-2 (2007). Ruiskubetoni. Osa 2: Toteuttaminen. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. 17 s.
- SFS-EN 14488-2 (2006) Testing sprayed concrete. Part 2: Compressive strength of young sprayed concrete. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. 11 s.
- Väylävirasto (2019). Kalliotunnelin kalliotekninen suunnitteluohje. Väyläviraston ohjeita 28/2019. Helsinki. 92 s.
- Tiehallinto (2009). Betonirakenteet, Betonointi ruiskubetonilla, Yleiset laatuvaatimukset. Tiehallinto Siltatekniikka. TIEH 2230096, Silko 2.234. Saatavissa (23.4.2020): [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio1/s1232\\_10.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio1/s1232_10.pdf)
- Rakentaja.fi (2012). Kuitubetonilla lisää lujuutta. Verkkosivu. Saatavissa (14.3.2020): [https://www.rakentaja.fi/artikkelit/9060/kuitubetonilla\\_lisaa\\_lujuutta.htm](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/9060/kuitubetonilla_lisaa_lujuutta.htm)
- Normet (2020). Ruiskubetonointi. Verkkosivu. Saatavissa (5.4.2020): <https://www.normet.com/fi/prosessi/ruiskubetonointi/>
- Nordkalk (2020). Kalkki on kaikkialla. Käyttökohteet. Verkkosivu. Saatavissa (20.4.2020): <https://www.nordkalk.fi/kaytokohteet/rakentaminen/>
- Pöllä, J. 2015. Ruiskubetonoinnin toteuttaminen. Ruiskubetoniohjeet -kurssi 2015. 38 s. Saatavissa (27.4.2020). <https://docplayer.fi/10731089-Ruiskubetonoinnin-toteuttaminen.html>